Wendt

Untersuch. am Hg-Linien

Diss. Tüb. 1911

UNTERSUCHUNGEN AN QUECKSILBERLINIEN.

STRUKTUR. VERÄNDERUNG DER LINIEN UND DES SPEKTRUMS BEI VERDÜNNUNG DES METALLDAMPFES. ZEEMANEFFEKT IN SCHWACHEN UND STARKEN FELDERN.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

EINER

HOHEN NATURWISSENSCHAFTLICHEN FAKULTÄT

DER

EBERHARD-KARLS-UNIVERSITÄT TÜBINGEN

VORGELEGT

VON

GEORG WENDT
AUS TÜBINGEN.

ACAD.
LUGD.BAT.
BIBL.

LEIPZIG
JOHANN AMBROSIUS BARTH
1911

Von der Fakultät angenommen den 31. Juli 1911.

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.

Inhalt.

Seite

I. Einleitung: Neuere Abhandlungen über die Struktur von Spektrallinien, über ihre Veränderung bei verschiedener Dampfdichte und verschiedenen Entladungsbedingungen und über ihren Zeemaneffekt in starken und schwachen Feldern. Zweck der Arbeit 5

II. Messung der Satelliten der Quecksilberlinien von 5790—2224 an einem großen Rowlandkonkavgitter von 6,4 m Krümmungsradius. Vergleich mit früheren Resultaten; Versuch einer Auffindung von Gesetzmäßigkeiten 7

III. Untersuchung der Veränderung einiger Hg-Linien durch fremden Gasdruck in einer Hg-Bogenlampe und Geisslerröhre . . . 17

IV. Untersuchung des Hg-Spektrums unter denselben Bedingungen, d. h. bei Verdünnung des Hg-Dampfes 21

V. Zeemaneffekt der Hg-Linien und ihrer Satelliten in starken und schwachen Feldern 24

I. Einleitung.

Folgende Untersuchung beschäftigt sich mit den Satelliten von Quecksilberlinien. Messungen sind im sichtbaren Spektrum außerordentlich viele gemacht worden. So hat zunächst Michelson[1]) aus der Intensitätskurve am Interferometer Trabanten bestimmt, dann Fabry und Perot[2]) mit ihrer „versilberten Luftschicht" (durchgehendes Licht). Ferner ist das Michelsonsche Stufengitter[3]) in ausgedehntem Maße zu Messungen von Wellenlängendifferenzen benützt worden, so von Janicki[4]), Houstoun[5]), Nutting[6]), Galitzin und Wilip[7]), Stansfield[8]), Nagaoka[9]) und neuerdings von Lunelund[10]). Endlich hat Lummer[11]) mit einer planparallelen Platte

1) A. A. Michelson, Phil. Mag. (5) **34.** p. 280—299. 1892.

2) A. Fabry u. Ch. Perot, Ann. de chim. et phys. (7) **12.** p. 459. 1897; **16.** p. 115. 1899; **22.** p. 564. 1901; **24.** p. 119. 1901; Compt. rend. **126.** p. 408—410, 1706—1708. 1898; **128.** p. 1156—1158. 1899.

3) Theorie des Echelons: A. A. Michelson, Astrophys. Journ. **8.** p. 36—47. 1898; Fürst B. Galitzin, Berichte der K. Akad. d. Wissensch. Petersburg. 1906.

4) L. Janicki, Ann. d. Phys. **19.** p. 36—79. 1906; Dissert. Halle. 1905.

5) R. A. Houstoun, Phil. Mag. (6) **7.** p. 456—467. 1904.

6) P. G. Nutting, Astrophys. Journ. **23.** p. 64—78, 220—232. 1906; Bull. Bur. of stand. **2.** p. 439. 1907.

7) Fürst B. Galitzin u. J. Wilip, Mém. acad. St. Pétersb. (8) **22.** Nr. 1. 1907.

8) H. Stansfield, Nat. **78.** p. 8—9. 1908.

9) H. Nagaoka, Nat. **77.** p. 581. 1908.

10) H. Lunelund, Dissert., Helsingfors 1910; Ann. d. Phys. **34.** p. 505. 1911.

11) O. Lummer, Physik. Zeitschr. **3.** p. 172—175. 1901; Verh. d. Deutsch. Phys. Ges. **3.** p. 85—98. 1901; Arch. Néerl. (2) **6.** p. 773—788. 1901.

(streifend einfallendes Licht) Trabanten gesehen, die Methode wurde brauchbar, nachdem von Gehrcke[1]) zwei Platten gekreuzt wurden und O. von Baeyer[2]) den Fehler, der durch die Dispersion des Glases hereinkommt, beseitigt hatte; die Messungen[3]) stimmen dann gut mit den andern überein. Gmelin[4]) hat durch Kombination eines Stufengitters mit einer auf beiden Seiten halbversilberten, planparallelen Glasplatte auch Interferenzpunkte hergestellt und dadurch den Nachteil des Echelons, nämlich daß die verschiedenen Ordnungen sehr nahe zusammenliegen und deshalb die Zuordnung der Trabanten unsicher ist, beseitigt.

Die auflösende Kraft großer Rowlandgitter in höherer Ordnung kommt nahe an die der genannten Instrumente heran. So haben Gale und Lemon[5]) an einigen Linien Satelliten gemessen. Hagenbach und Konen[6]) haben mehrere Linien aufgelöst photographiert, sie aber leider nicht ausgemessen.

Über die Veränderung der Linien und Trabanten bei verschiedener Dampfdichte, bei Variation von Druck, Temperatur, Stromstärke und Entladungsbedingungen bestehen sehr viele Arbeiten, von denen ich nur die, die für mich in Betracht kommen, herausgreife. Galitzin und Wilip[7]) haben mit dem Echelon eine umfangreiche Untersuchung an Quecksilberlinien und dabei ausgedehnte elektrische Messungen an Geisslerröhren gemacht. Huff[8]) untersucht eingehend den Einfluß von Kapazität und Selbstinduktion beim Funken in Luft und im Geisslerrohr. Lewis[9]) findet, daß die Anwesenheit von Hg-Dampf in Geisslerröhren mit Gasen die Helligkeit der Gaslinien schwächt, namentlich bei kleinem Druck; ähnliches findet Nutting[10])

---

1) E. Gehrcke, Verh. d. Deutsch. Physik. Ges. **7.** p. 236—241. 1905.
2) O. v. Baeyer, Verh. d. Deutsch. Physik. Ges. **10.** p. 733—740. 1908.
3) L. Janicki, Ann. d. Phys. **29.** p. 833—868. 1909.
4) P. Gmelin, Ann. d. Phys. **33.** p. 17. 1910.
5) H. G. Gale u. H. B. Lemon, Astrophys. Journ. **31.** p. 78. 1910: Physik. Zeitschr. **11.** p. 209. 1910.
6) A. Hagenbach u. H. Konen, Zeitschr. f. wiss. Phot. **1.** p. 342 bis 346. 1903.
7) Vgl. p. 5, Anm. 7.
8) W. B. Huff, Astrophys. Journ. **12.** p. 103—119. 1900.
9) P. Lewis, Astrophys. Journ. **10.** p. 137—163. 1899.
10) P. G. Nutting, Astrophys. Journ. **19.** p. 105—111. 1904.

bei seiner Untersuchung des Spektrums von Gasgemischen. H. Crew[1]) untersucht die Veränderung des Spektrums einiger Metalle, wenn er den Lichtbogen in Wasserstoff brennen läßt.

Von den Arbeiten über Zeemaneffekt der Quecksilberlinien im starken Feld nenne ich die von Runge und Paschen[2]). Über den Zeemaneffekt der Satelliten, d. h. in schwachen Feldern haben Gehrcke und O. von Baeyer[3]) gearbeitet, ferner Lunelund[4]). Eine Zusammenstellung des gesamten Materials über Quecksilber findet sich in Kaysers Handbuch der Spektroskopie 5. p. 521—561, speziell über Struktur der Linien: p. 530 Mitte und p. 549—552. Eine weitere Zusammenstellung der Literatur bis 1909 gibt O. von Baeyer[5]) in seinem Bericht über die Struktur der Spektrallinien. Ein Versuch einer Erklärung der Satelliten liegt nicht vor. Auf Anraten des Hrn. Professor Dr. Paschen habe ich einige Eigenschaften der Satelliten und des Spektrums bei Quecksilber untersucht im Echelonspektroskop, an einem großen Rowlandgitter, sowie mit lichtstarken Prismenapparaten im sichtbaren Teil und im Ultraviolett.

II. Messung der Wellenlängendifferenzen der Satelliten von Quecksilberlinien.

Wie zu Anfang erwähnt, sind die sichtbaren Linien des Quecksilbers schon sehr oft auf ihre Struktur untersucht. Die Messungen erstrecken sich meist von der Linie 5790—4047 Å.-E. Glas läßt Licht bis 3500 Å.-E. durch, so hat Janicki[6]) mit dem Plattenspektroskop noch die Linien bei 36 untersucht, seine Resultate sind bei diesen Linien indessen unsicher und unvollständig. Um nun die Struktur der Hg-Linien bis 2000 abwärts zu erhalten, habe ich mit einem Rowlandschen Konkavgitter

---

1) H. Crew, Astrophys. Journ. **12.** p. 167—175. 1900.

2) C. Runge u. F. Paschen, Abh. d. Berl. Akad. 1902. Anhang.

3) E. Gehrcke u. O. von Baeyer, Verh. d. Deutsch. Physik Ges. 8. p. 399—404. 1906; **10.** p. 423—428. 1908.

4) Vgl. p. 5, Anm. 10.

5) O. von Baeyer, Jahrb. d. Radioaktivität. **6.** p. 50—68. 1909.

6) Vgl. p. 6, Anm. 3.

von 6,4 m Krümmungsradius das Hg-Spektrum photographiert. Die Anordnung war folgende (Fig. 1): In einem quadratischen Raum (im Erdgeschoß) von 8 m Seitenlänge und 5 m Höhe, der vollständig zu verdunkeln und gänzlich schwarz angestrichen ist, steht in einer Ecke auf eingemauerter Konsole das Gitter (*G*). Bei *AB* ist in einer Höhe von ca. 1 m ein Halbkreis aufgemauert, der oben Schieferplatten trägt. Bei *S* ist der Spalt, bei *K* der Krümmungsmittelpunkt. Ein lichtdichter Vorhang, der vom Boden bis zur Decke reicht, schließt die Beleuchtung, die bei *L* aufgebaut wird, gegen den Gitterraum ab. Fünf Kameras von je 1,10 m Länge, also für 12 Platten 6 × 9 werden auf den Halbkreis gestellt und genügen in zwei Stellungen zur Aufnahme des ganzen Spektrums, und zwar von 2000 Å.-E. der ersten Ordnung, bei *A*, bis 24000 Å.-E., also z. B. 6000 der vierten Ordnung, bei *B*. Die Anordnung ist so stabil, daß sich die Normale im ganzen nie mehr als 0,5 mm geändert hat, auch habe ich bei achtstündiger Belichtung am Tage nie eine unscharfe Aufnahme erhalten; die Temperatur läßt sich in dem nach Norden gelegenen Raum leicht einigermaßen konstant halten, ihr Einfluß ist verschwindend. Die Kameras werden justiert, indem man sie mit zwei Marken, die zu beiden Seiten angebracht sind und die Fläche der Plattenschicht angeben, auf den in die Schiefertafel geritzten Rowlandschen Kreis stellt. Letzterer wurde erst visuell aus der grünen Quecksilberlinie in vier Ordnungen bestimmt und dann photographisch korrigiert; dabei zeigte es sich, daß jede Linie ihren eigenen Rowlandschen Kreis hat, d. h. daß es nicht gelang, eine gelbe und eine blaue Linie, z. B. 5790 dritter und 4358 vierter Ordnung, die ja nebeneinander liegen, zugleich scharf zu bekommen; so mußten die Kameras in allen Ordnungen für die Aufnahme von Violett auf das Gitter zu und für Rot etwas vom Gitter weg gerückt werden.

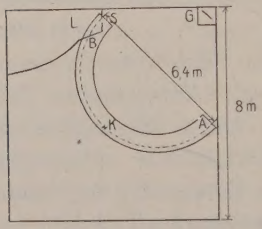


Fig. 1.

Die Lichtquelle war eine Hg-Vakuumlampe, Paschenscher Konstruktion. Die Lampe war von C. W. Heräus in Hanau ganz aus Quarz hergestellt, um größere Stromstärke anwenden

zu können; sie brannte mit 65 Volt Spannung und durchschnittlich 10—12 Amp. Stromstärke stundenlang ohne Wartung und war dauernd mit einer automatischen Quecksilberluftpumpe verbunden. Bei *a* war ein Quarzglasfenster aufgeblasen; der obere Teil der Lampe wurde zur Verhinderung der Tropfenbildung am Fenster, welche die Leuchtkraft sehr schwächt, geheizt, und zwar durch einen in mehreren Windungen umgelegten dicken Platindraht, durch den derselbe Strom, der die Lampe speiste, floß. Die Abbildung geschah durch einen Silberspiegel und eine Quarzlinse (Fig. 2).

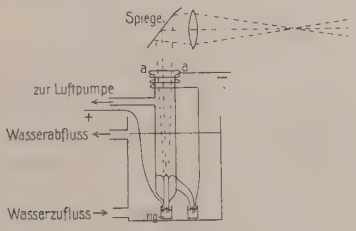


Fig. 2.

Für Wellenlängen über 5600 Å.-E. erwies sich die dritte Ordnung noch als brauchbar, von 4500—5600 die vierte, von 3000—4500 die fünfte und unter 3000 noch die sechste Ordnung. Der ultraviolette und violette Teil des Spektrums wurde mit Schleussnermomentplatten aufgenommen, im grünen erwiesen sich Silbereosinplatten von Vogel-Obernetter als die empfindlichsten, für gelb Perutz-Perchromo- und die Hauffsche Flavinplatte, letztere wegen ihres groben Kornes zu feinen Messungen nicht geeignet, und endlich für rot englische Pinacyanolplatten von Wratten und Wainwright.

Über die Richtigkeit der mit dem Gitter gewonnenen Resultate schreibt Kayser[1]), daß man, sofern eine Linie im Gitter in mehr Komponenten aufgelöst wird als mit dem Echelon, die Resultate des Gitters gelten lassen müsse. Im Echelon ist es stets möglich, daß zwei Trabanten benachbarter Ordnungen aufeinanderfallen. Wenn eine Vergrößerung der Anzahl der Komponenten durch Unschärfe ausgeschlossen wird und eine Überlagerung durch eine Linie einer andern Ordnung

1) H. Kayser, Handb. d. Spektroskopie. 5. p. 550 oben.

unmöglich ist, und wenn die Linie gleichzeitig in mehreren Ordnungen (von mir meistens in der dritten, vierten und fünften) photographiert und ausgemessen wird und das Bild stets das gleiche ist, so wird damit die Realität der einzelnen Komponenten sehr wahrscheinlich gemacht. Die Platten wurden mit einem geprüften Zeissschen Komparator ausgemessen, die Dispersion für jede Linie aus einer nahegelegenen zweiten Linie bestimmt; sie betrug in erster Ordnung im Mittel ca. 2,2 Å.-E. pro mm. Die Wellenlängendifferenzen sind in Tab. I zusammengestellt und mit früheren Messungen verglichen. Die Intenstitäten sind geschätzt, und zwar ist 10 die der Hauptlinie und 1 die kleinste. Die mit einem Fragezeichen versehenen Linien sind entweder sehr schwach oder nicht mit Sicherheit getrennt. Die Wellenlängen der Hauptlinien sind die von Kayser und Runge. Unterhalb 2967 Å.-E. habe ich keine Linie aufgelöst erhalten, 2894 zeigt deutliche Spuren einer Auflösung, jedoch konnte kein Satellit getrennt gemessen werden. 2536 war als einzige stets umgekehrt. Ein Versuch, rote Linien aufgelöst zu erhalten, scheiterte; ob die roten Linien einfach sind, oder die Lichtstärke der Trabanten zu gering ist, kann ich nicht entscheiden; auch im Echelon ist es mir nicht gelungen, eine rote Hg-Linie aufgelöst zu sehen.

Tabelle I.

Hg-Linien mit ihren Satelliten.

λ	Int.	$d\lambda$	Frühere Messungen
2967,578	2	− 0,062	
67,64	10		
3125,703	4	− 0,077	
25,78	10		
25,846	4	+ 0,066	
3131,604	2	− 0,076	
31,632	?1	− 0,048	
31,68	10		
31,729	2	+ 0,049	
3131,94	unscharf, kein meßbarer Trabant		
3341,108	?1	− 0,592	
41,343	1	− 0,357	

Tabelle I (Fortsetzung).

λ	Int.	d λ	Frühere Messungen		
41,502	2	− 0,198			
41,599	4	− 0,101			
41,70	10				
41,827	3	+ 0,127			
41,881	3	+ 0,181			
41,999	2	+ 0,299	Janicki[1])		
42,197	2	+ 0,497	(Platten-Spektroskop)		
3650,250	4	− 0,060	− 0,040	4	
50,31	10				
50,421	3	+ 0,111	+ 0,097	4	
3654,901	3	− 0,099	− 0,092	2	
54,928	2	− 0,072	− 0,065	1	
55,00	10				
55,074	3	+ 0,074	+ 0,067	2	
55,108	1	+ 0,108			
55,176	1	+ 0,176			
3662,946	1	− 0,104	bei 3663,05 und 3663,46 mißt Janicki[2]) einen Trabanten, den er nicht zuordnen kann, weil er nur einen hat; er kann bei 3663,05 + 0,095 und − 0,063 und bei 3663,46—0,379 liegen. Sehr wahrscheinlich ist das letztere, es soll dann − 0,41 heißen und ist die Linie 3663,05.		
62,973	1	− 0,077			
63,024	?1	− 0,026			
63,05	10				
63,103	2	+ 0,053			
63,159	$^1/_2$	+ 0,109			
3663,364	2	− 0,096			
63,46	10				
63,574	2	+ 0,114			
3 schwache Linien	?$^1/_2$				
3983,827	1				
83,912	?1 u				
83,970	8				
83,048	8				
84,124	8				
84,200	8				
84,259	1				
84,344	?1				
3 schwache Linien	?$^1/_2$				

1) Vgl. p. 6, Anm. 3.
2) L. Janicki, Ann. d. Phys. **29**. p. 857 unten.

Tabelle I (Fortsetzung).

λ	Int.	$d\lambda$	Frühere Messungen		
			Janicki[1]) (Platten-spektroskop)		Hagenbach u. Konen[2]) (Gitter)
4046,039					
46,096	? 1				
46,165					
3 schwache Linien	? $^1/_2$		von hier an auch		
4046,555	1		Lunelund[3]) (Echelon)		
46,610	2				
46,663	4	− 0,117	− 0,112	3	
46,719	8	− 0,061	− 0,054	8	
46,78	8				7 Komponenten
46,846	4	+ 0,066	+ 0,067	5	(nicht ausgemessen)
46,905	6	+ 0,125	+ 0,126	6	(O. v. Baeyer[4])
46,940	? 1				
47,007	1	+ 0,227			
47,062	1	+ 0,282			
2 schwache Linien	? $^1/_2$				
4047,244					
47,303	? 1				
47,364					
47,415					
4077,479					
77,590	? 1				
77,697					
77,882	2	− 0,168			
77,962	6	− 0,088	− 0,076	2	
77,990	4	− 0,060	− 0,046	3	
78,05	8		+ 0,030	1	7 Komponenten
78,105	6	+ 0,055	+ 0,046	3	(nicht ausgemessen)
78,135	1	+ 0,085	+ 0,074	2	
78,212	2	+ 0,162			
78,272	? 1				
78,313					
bei 4078,61	? $^1/_2$				
5 schwache Linien					
Abstand 0,061 Å.-E.					

1) Vgl. p. 6, Anm. 3.
2) Vgl. p. 6, Anm. 6.
3) Vgl. p. 5, Anm. 10.
4) Vgl. p. 6, Anm. 2.

Tabelle I (Fortsetzung).

λ	Bemerkungen	Frühere Messungen	
		Janicki	Hagenbach u. Konen
4339	einfach	− 0,120 1	5 Komponenten
	unscharf	+ 0,060 1	(nicht ausgemessen)
	verbreitert	− 0,044 4	
4348	nach rot	+ 0,051 2	5 Komponenten
	und violett	+ 0,076 2	(nicht ausgemessen)
	kein meßbarer Trabant		
4358	Dasselbe Bild wie Gale u. Lemon[1])		
5461			
5769			
5790			
4916	stets einfach		
5804	stark verbreitert nach rot. Trabant?		

Zu erwähnen ist noch eine merkwürdige und unerklärte Erscheinung, die Abschattierung einiger starken Linien ist nicht kontinuierlich, sondern in eine große Anzahl feiner Linien aufgelöst. Dasselbe hat Kayser[2]) an einer Bleilinie und Rowland bei nur einer einzigen Spektrallinie gesehen. Jewell sieht an einigen Fraunhoferschen Linien eine solche Auflösung und später bei einer Aufnahme des Ca-Bogenspektrums bei besonders dichtem Dampf, daß die Schatten der Linien *H* und *K* dieselbe Struktur zeigen; er mißt die feinen Linien aus und findet, sie seien nicht äquidistant, sondern ihr Abstand wachse mit der Entfernung von der Hauptlinie. Ich habe sie an mehreren Platten ausgemessen und finde die Streifen weder äquidistant noch daß ihr Abstand gleichmäßig zunimmt, sondern vielmehr eine Art von Gruppierung, auch die Intensitäten nehmen nicht gleichmäßig ab. Ich habe die Erscheinung an den Linien 3984, 4047 und 4078 (auffällig ist, daß alle diese Linien im Spektrum sehr nahe zusammenliegen) beobachtet, und in den höheren Ordnungen, wo die Satelliten schon ziemlich schwach sind und diese feinen Striche weit getrennt, ist es schwer, zwischen diesen Strichen und Satelliten zu unter-

1) Vgl. p. 6, Anm. 5.
2) H. Kayser, Handb. d. Spektroskopie. 2. p. 353 unten.

scheiden, erstere kehren auch in den verschiedenen Ordnungen mit der Dispersion entsprechenden Abständen wieder; ich habe die fraglichen in der Tabelle mit einem Fragezeichen bezeichnet, andere als schwache Linien angegeben. Diese feinen Striche werden, wie ich später gesehen habe, durch das Magnetfeld beeinflußt.

Es wurde nun der Versuch gemacht, Gesetzmäßigkeiten unter den Satelliten aufzufinden; bestehen solche, so müßten z. B. die entsprechenden Linien einer Serie[1]) aufgelöst dasselbe Bild zeigen. Es handelt sich dabei um die erste und zweite Tripletnebenserie, da alle Linien, an denen Trabanten gemessen worden sind, sofern sie überhaupt eingeordnet sind, zu diesen gehören; es müßten nun die Differenzen der Schwingungszahlen der Satelliten entsprechender Linien gleich sein. Nun rücken bei großen Schwingungsdifferenzen die Linien derselben Schwingungsdifferenz bei kleinen Wellen sehr nahe zusammen, das Gitter löst sie nicht mehr auf und die den Satelliten der Linie größerer Wellenlänge entsprechenden Linien können nicht gefunden werden; umgekehrt entfernen sich bei den Linien größerer Wellenlänge die dem Bild der Linie mit kleinerer Wellenlänge entsprechenden Satelliten sehr weit von der Hauptlinie und ihre Intensität wird so gering, daß sie nicht mehr gesehen werden können; auch liegt teilweise die Vermutung nahe, daß eine als Satellit gemessene Linie zu einer andern Serie gehört als die Hauptlinie, bei der sie liegt. So entsprechen sich bei der zweiten Nebenserie die Linien 5461 und 3341. Berechnet man nun die Schwingungszahlen der Satelliten von 5461 auf Vakuum reduziert, addiert die Schwingungsdifferenz von 5461 und 3341 und berechnet dazu die Wellenlängen in Luft, so erhält man für die Satelliten von 3341 die Wellenlängendifferenzen:

$$-0{,}07 \quad -0{,}03 \quad -0{,}01 \quad +0{,}04 \quad +0{,}06 \quad +0{,}10 \text{ Å.-E.}$$

Gemessen wurden als nächstliegende $-0{,}10$ und $+0{,}13$. Daß die näherliegenden nicht gesehen wurden, kann (auch in folgendem!) auf der physikalischen Unschärfe einzelner

1) Rydberg, Rapp. prés. an Congrès internat. de Physique. 2. p. 212. Paris. 1900.

Linien beruhen, da ja bei andern Linien Satelliten unter 0,05 Å.-E. gemessen wurden. Man erhält hierbei ein System von Parallelserien. Macht man dieselbe Rechnung mit den beiden am weitesten von der Hauptlinie abgelegenen Satelliten von 4358 (nach Gale und Lemon und meinen Messungen + 0,155 und — 0,194), so erhält man für die Satelliten von 2894 die Wellenlängendifferenzen — 0,06 und + 0,08 Å.-E. und in der Tat zeigt die Linie deutliche Spuren von Auflösung nach rot und violett; auch bei der Linie 2753 ist eine Auflösung angedeutet; bei der entsprechenden Linie 4047 scheinen, sowie bei 4078 und 3984 mehrere Linien, übereinander zu liegen, wie aus der eigenartigen Aufspaltung dieser Linien im Magnetfeld (vgl. Abschnitt V) hervorgeht. Günstiger liegen die Verhältnisse bei der ersten Nebenserie, weil da die Schwingungsdifferenzen nicht so groß sind. Die erste Nebenserie ist komplizierter zusammengesetzt, da jede Linie des Triplets auf der Seite der kleineren Schwingungszahlen von schwächeren Linien begleitet ist, die erste von drei, die zweite von zwei und die dritte von einer; ich habe in folgendem die drei Linien des Triplets $m = 4$ miteinander verglichen, da hier die meisten Satelliten sind, und zwar zuerst die Hauptlinien, dann die schwächeren Begleiter in der Reihenfolge ihrer Wellenlänge. Die Zahl der Schwingungsdifferenz ist so gewählt, daß die Hauptlinie die neue Wellenlänge genau erhält, um die Übereinstimmung zu zeigen. Die Rechnung ist folgende:

Hauptlinien:

λ_1 gemessen (mit Intensität)	3650,25 (4)	3650,31 (10)	3650,42 (3)
$\frac{1}{\lambda_1}$ im Vakuum	27387,9	27387,4	27386,7
+ Schwingungsdifferenz	4595.7	4595.7	4595,7
$\frac{1}{\lambda_2}$ im Vakuum	31983,6	31983,1	31982,4
λ_2 in Luft	3125,73	3125,78	3125,84
λ_2 beobachtet	3125,703 (4)	3125,78 (10)	3125,846 (4)

Die dritte Linie 2967,37 erhielt ich nicht mehr aufgelöst.

Begleiter.

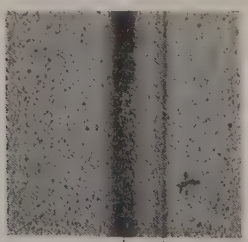
λ_2 gemessen (mit Intensität)	3131,60	(2)	3131,63	(1)	3131,68	(10)	3131,73 (2)
$\frac{1}{\lambda_2}$ im Vakuum	31923,6		31923,3		31922,8		31922,3
− Schwingungsdiff.	4570,5		4570,5		4570,5		4570,5
$\frac{1}{\lambda_1}$ im Vakuum	27353,1		27352,8		27352,3		27351,8
λ_1 in Luft	3654,89		3654,93		3655,00		3655,07
λ_1 beobachtet	3654,901	(3)	3654,928	(2)	3655,00	(10)	3555,074 (3)
							[3655,108 / 3655,176] (1)
λ_2 gemessen (mit Intensität)	3131,60	(2)	3131,63	(1)	3131,68	(10)	3131,73 (2)
$\frac{1}{\lambda_2}$ im Vakuum	31923,6		31923,3		31922,8		31922,3
+ Schwingungsdiff.	1764,3		1764,3		1764,3		1764,3
$\frac{1}{\lambda_3}$ im Vakuum	33687,9		33687,6		33687,1		33686,6
λ_3 in Luft	2967,56		2967,59		2967,64		2967,68
λ_3 beobachtet	2967,578 (2)				2967,64 (10)		

Bei der Linie 3131,94 erhielt ich keinen meßbaren Trabanten, wohl aber deutliche Spuren von Auflösung.

Bedeuten würde dies, daß jede Linie des Triplets aus einer sehr großen Anzahl, vielleicht aus unendlich vielen Linien besteht, die dieselbe Schwingungsdifferenz haben.

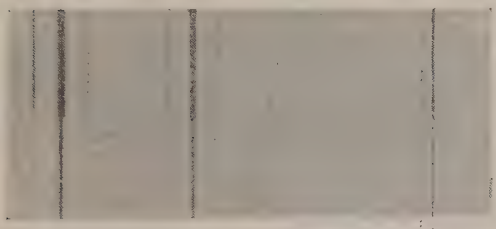
Vergrößerungen (3—4 fach).

Erste Nebenserie und 4047.



2967,4 2967,6 IV. Ord.

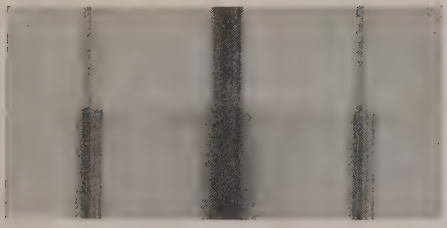
3125 3131,6 3131,9 IV. Ordn.



30 Min.

5 Min.
belichtet

3650 (1–2 fach) 3655 3663 3663 V. Ordn.



5 Min.

30 Min.
belichtet

4047 IV. Ordn.

III. Untersuchung der Veränderung einiger Hg-Linien durch fremden Gasdruck in einer Hg-Bogenlampe und Geisslerröhre.

Um etwas über die Schwingung, der die Satelliten angehören, zu erfahren, habe ich die Bedingungen für die Schwingungen variiert und mit dem Echelonspektroskop den Einfluß auf die Satelliten untersucht. Macht man die Dampfdichte des Quecksilbers sehr groß, so verbreitern sich Linien und

Trabanten; dies ist von Gehrcke[1]) untersucht, auch Janicki[2]) hat dasselbe gesehen. Man kann den eigenen Dampfdruck des Quecksilbers steigern, indem man den Strom sehr stark macht oder die Lampe erwärmt; treibt man diese Steigerung weiter, so geht die Verbreiterung immer weiter, der Hintergrund wird heller und das ganze Bild verschwimmt. (Die fünf äquidistanten Streifen, die Janicki und auch Galitzin und Wilip[3]) dabei gesehen haben, halte ich für eine Eigenschaft des Echelons, wenigstens habe ich am großen Gitter nie etwas derartiges gesehen; Galitzin und Wilip haben auch bei Hg 5461 und 4358 eine eigenartige Schleifenbildung beobachtet, die sie nicht für Selbstumkehr halten, sondern zu deren Erklärung sie das Doppler-Prinzip heranziehen.) Ich habe dies mit einer Heräusschen Quarzlampe untersucht, bei der man sehr starken Strom und infolge dessen großen Dampfdruck

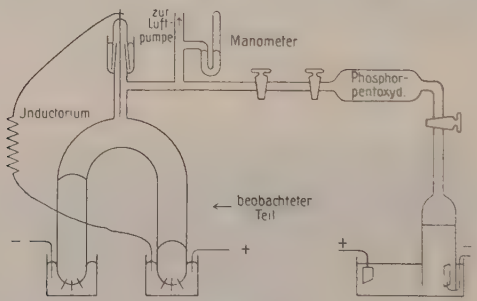


Fig. 3.

anwenden konnte. Im Gegensatz zu dieser Steigerung des eigenen Dampfdruckes des Quecksilbers habe ich den Einfluß von fremdem Gasdruck in der Lampe, und zwar zunächst von Wasserstoff, auf das Aussehen der Spektrallinien untersucht. Zu diesem Zweck konstruierte ich mir eine Lampe (Fig. 3), die einen sehr langen Lichtbogen mit möglichst geringer Hg-Dampfdichte haben sollte. Die Glasröhre, aus der die Lampe gebogen war, hatte 2 cm lichte Weite, der Lichtbogen

1) E. Gehrcke, Verh. d. Deutsch. Phys. Ges. **6**. p. 344—348. 1904.
2) L. Janicki, Ann. d. Phys. **19**. p. 49 u. 51. 1906.
3) Fürst B. Galitzin u. J. Wilip, Mém. acad. St. Pétersb. (8). **22**. Nr. 1. 1907.

war ungefähr 12 cm lang. Zur Zündung war oben durch einen mit Quecksilber gedichteten Schliff ein Platindraht eingeführt, der mit der Sekundärwickelung eines kleinen Induktoriums verbunden war, der andere Pol war mit der Anode der Lampe verbunden; um die Stromzuführung gegen das Kühlwasser zu isolieren, war das Quecksilber in den Zuleitungsnäpfen mit einer dünnen Schicht Schwefelkohlenstoff überzogen. Der Wasserstoff wurde elektrolytisch hergestellt, durch Phosphorpentoxyd getrocknet und eingeleitet, ein Zwischenraum zwischen zwei Hähnen diente als Maß, Drucke über 1 mm konnten an einem Manometer abgelesen werden.

Der Dispersionsapparat bestand aus einem großen Stufengitter von Adam Hilger in London mit 33 Stufen von 1,01 mm Breite und 9,487 mm Dicke in der abgebildeten Anordnung (Fig. 4).

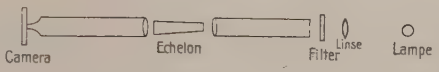


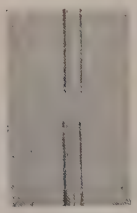
Fig. 4.

Dasselbe Echelon ist von Gmelin[1]) genau beschrieben. Zur vorläufigen Zerlegung des Lichtes diente ein Wrattenfilter, das einen wirklich nur sehr kleinen Spektralbezirk durchläßt, Kollimator- und Fernrohr hatten Zeiss-Objektive; diese Anordnung war außerordentlich lichtstark.

Es wurden nun an der grünen Quecksilberlinie (5461 Å.-E.) folgende Versuche ausgeführt. Brannte die Lampe mit ca. 4 Amp. und bei möglichst niedrigem Druck, so waren die Satelliten scharf und hell (zu sehen waren + 0,222, + 0,133, + 0,088, — 0,066 — 0,099 und — 0,232), wurde fremdes Gas in die Lampe gelassen, bis zu 3 mm Druck, so blieben die Satelliten scharf, nahmen aber an Intensität ab, und zwar in verschiedener Weise; da das ganze Bild dunkler wird, kann nur relativ zur Hauptlinie etwas ausgesagt werden. Wurde dann der Strom schwächer gemacht, so nahmen die Trabanten im Verhältnis zur Hauptlinie noch mehr an Intensität ab, am meisten beeinflußt wurde der bei — 0,232 und am wenigstens + 0,088.

1) P. Gmelin, Diss. Tübingen 1909.

Photographisch wurden von dieser Linie Aufnahmen gemacht bei möglichst niedrigem Druck mit starkem und schwachem Strom und bei hohem Druck auch mit starkem und schwachem Strom. Die verschiedene Intensität der Hauptlinie wurde durch die Belichtungsdauer kompensiert. Es ergab sich: war kein Druck in der Lampe, so änderte sich bei verschieden starkem Strom die Intensität der Trabanten relativ zur Hauptlinie nicht; bei fremdem Gasdruck in der Lampe nahm die Helligkeit der einzelnen Trabanten relativ zur Hauptlinie in verschiedener Weise ab, und zwar um so mehr, je schwächer der Strom und je mehr fremdes Gas in der Lampe war: die Intensitätsabnahme hängt also von dem Verhältnis der Menge des in der Lampe vorhandenen fremden Gases zum Quecksilberdampf ab. Um dieses Verhältnis möglichst groß zu machen, d. h. um die Lampe bei hohem Druck mit möglichst schwachem Strom brennen zu lassen, mußte die Spannung möglichst hoch gewählt und möglichst viel konstanter Widerstand vorgeschaltet werden, um die großen Schwankungen des Widerstandes in der Lampe, bei welchem sie sonst immer ausgeht, auszugleichen; so wurde die Lampe meist mit 552 Volt betrieben, wurde dann noch eine große Selbstinduktion als Drosselspule in den Stromkreis gelegt, dann brannte die Lampe bei ca. 5 mm Druck noch mit 0,4 Amp., dann schien es bisweilen, als sei der Trabant — 0,232 ganz verschwunden, während die Hauptlinie, natürlich nicht so hell, aber vollkommen scharf blieb und andere, sonst schwächere Trabanten, namentlich + 0,088 gut zu sehen waren. Nebenstehende Vergrößerung einer Aufnahme mit dem Echelon zeigt die Linie 5461 unter den verschiedenen Bedingungen. Zwei Beugungsordnungen sind ziemlich gleich hell eingestellt, der Trabant — 0,232 liegt in der Mitte und ist bei 2 in der nächsten Beugungsordnung nach links nochmal zu sehen, bei 1 ist nur + 0,088 gut zu sehen, (nach links nehmen die Wellenlängen ab); am nächsten (rechts), schon sehr schwachen Beugungsbild der Hauptlinie sieht man, daß diese in beiden Aufnahmen ungefähr gleich stark ist.



Hg 5461 im Echelon mit (1) u. ohne (2) H-Druck in der Lampe ($1^1/_2$ mal vergrößert)

Dieselben Versuche wurden mit der Linie 4358 gemacht. Ein Filter genügte natürlich nicht, um die Linien bei 43 zu trennen, deshalb mußte vor dem Spalt des Echelonspektroskopes ein Hilfsspektroskop aufgestellt werden, dessen Prisma vom Okular des Echelonspektroskopes aus gedreht werden konnte und welches dann die einzelnen Linien auf den Spalt des letzteren brachte. Es wurden dieselben Aufnahmen wie bei der grünen Linie gemacht, der Effekt war derselbe. Die gelben Linien wurden nur okular untersucht und zeigten dasselbe, wenn auch nicht in dem Maße wie die grüne und blaue Linie. Um zu zeigen, daß wirklich fremdes Gas und nicht nur sehr schwacher Strom nötig ist, um die Erscheinung hervorzubringen, wurde die Lampe geheizt; dann konnte sie mit sehr schwachem Strom betrieben werden, die Linien blieben dabei scharf (!), aber zwei Aufnahmen untereinander, eine mit stärkerem Strom und Kühlen, die andere mit sehr schwachem Strom und Heizen, zeigten völlig das gleiche Bild, d. h. der Effekt blieb aus.

Dieselben Versuche wurden visuell mit reinem Stickstoff wiederholt, welcher aus atmosphärischer Luft durch Entziehung des Sauerstoffes mit Pyrogallol und Kalilauge unter dem Wasserstoffapparat hergestellt wurde. Der Effekt war derselbe, bei gleichen Mengen in scheinbar erhöhtem Maße; er konnte jedesmal nur sehr kurze Zeit beobachtet werden, da der Stickstoff mit Quecksilber bei der Temperatur des Lichtbogens ein Nitrid bildet, das sich in der Lampe niederschlägt; Einleiten von Wasserstoff in die brennende Lampe entfernt den Beschlag sofort wieder. Auch mit einer Geisslerröhre wurden diese Versuche gemacht, es zeigt sich wieder dasselbe.

IV. Untersuchung der Veränderung des Hg-Spektrums bei Verdünnung des Hg-Dampfes.

Um analoges im Spektrum des Quecksilbers zu finden, habe ich mit der oben beschriebenen Lampe eine Aufnahme an dem im Abschnitt II beschriebenen Gitter gemacht. Die Anordnung war zu lichtschwach und zeigte bei 20 stündiger Belichtung nur an den starken Linien die Intensitätsabnahme der Satelliten

wieder. Deshalb habe ich das Spektrum mit lichtstarken Prismenapparaten aufgenommen, und zwar zunächst den sichtbaren Teil mit derselben Lampe und einem größeren Spektrographen von A. Hilger-London. Macht man den eigenen Dampfdruck des Quecksilbers sehr groß, so werden die Linien unscharf und der Hintergrund wird heller. Bei fremdem Gasdruck in der Lampe zeigten sich Unterschiede in den Intensitäten, so schienen die Linien der Triplets abzunehmen, störend waren dabei die Wasserstoffbanden; merklich nahm nur die Linie 5025, wenn das Verhältnis H/Hg größer gemacht wurde, an Intensität ab. Der ultraviolette Teil des Spektrums wurde mit einem sehr lichtstarken Fuessschen Quarzspektrographen aufgenommen. Als Lichtquelle diente hier eine Geisslerröhre, die ich mir von C. Desaga in Heidelberg aus Quarzglas herstellen ließ. Als brauchbares Modell erwies sich eine Röhre von der in Fig. 5 dargestellten Form.

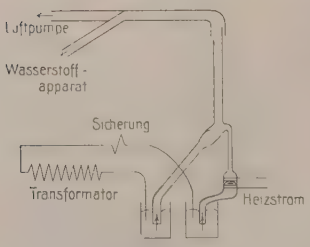
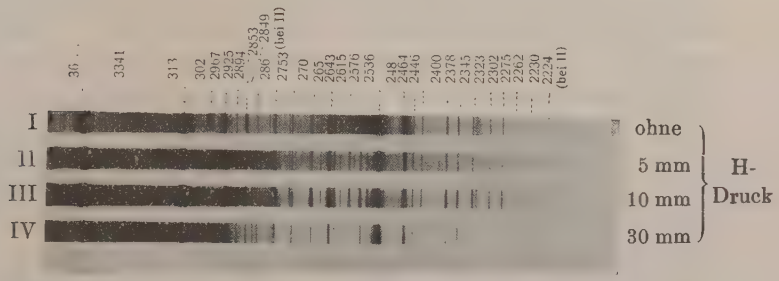


Fig. 5.

Betrieben wurde die Röhre mit hochgespanntem Wechselstrom, den ein kleiner Transformator, primär 120 Volt 16 Ampere, sekundär 5000 Volt 0,5 Amp., lieferte. Zum Zünden der Röhre wurde die eine Elektrode erwärmt, und zwar durch einen um die Oberfläche des Quecksilbers in mehreren Windungen gelegten Platindraht, durch den kurze Zeit ein Strom von ca. 5 Amp. floß. Dieses Modell bewährte sich außerordentlich; die Röhre konnte im starken Magnetfeld noch mit 30 mm Wasserstoffdruck stundenlang ohne Wartung brennen. Abgebildet wurde, um für Ultraviolett nicht an Lichtstärke zu verlieren, mit einem korrigierten Objektiv aus Quarz–Flußspath. Es ergab sich: *bei Verstärkung des H-Druckes nehmen die Triplets an Intensität ab, die Dublets und einfachen Linien*[1]) *ganz beträchtlich zu, am stärksten sind sie zwischen 5 und 10 mm H-Druck, wird der Druck weiter gesteigert, so nehmen auch diese*

1) Über Duplets und einfache Linien im Spektrum von Quecksilber, Zink und Cadmium vgl. F. Paschen, Ann. d. Phys. **10.** p. 860—880. 1911.

Linien an Intensität wieder ab, und zwar zunächst die Dublets bei ca. 10 mm, dann die einfachen Linien bei ca. 30 mm H-Druck, zuletzt bleibt 2536. Die Platten wurden ausgemessen und die Linien genau identifiziert. Nachstehende Reproduktion zeigt eine Aufnahme mit dem Quarzspektrographen in natürlicher Größe. Die Intensitätsverhältnisse der Linien treten auf dem Original besser hervor, vor allem sind die Wasserstofflinien nicht so störend. Analoges bei Verdünnung des Metalldampfes hat Crew[1]) gefunden, er hat das Bogenspektrum einiger Metalle untersucht, und zwar wenn er den Bogen in Luft und in Wasserstoff brennen ließ; er findet, daß viele Linien, z. B. das



Aufnahme mit Quarzspektrograph bei verschiedenem H-Druck.

Dublet[2]) 2558 und 2502 bei Zink, stärker werden, während andere Linien abnehmen, die beeinflußten Linien nennt er Funkenlinien. Neuerdings wurde im physikalischen Institut zu Tübingen gefunden, daß Wasserstoff auf den Funken genau so wirkt, wie auf den Bogen und in der Vakuumlampe, desgleichen, daß bei einer Legierung der fremde Metalldampf denselben Effekt hervorbringt, hierbei ist vor allem das Verschwinden der Triplets noch besser zu beobachten. Bei einer Aufnahme des Funkens zwischen amalgamierten Zinkblechen erhielt ich die Dublets[2]) von Zink sowie von Quecksilber bedeutend verstärkt, am meisten die einfachen[2]) Linien Zn 2138 und Hg 2536. Letztere Linie zeigt sich in Geisslerröhren, die mit Quecksilberluftpumpen ausgepumpt sind. Als Verunreinigung des Zinkes durch Cadmium erhielt ich die einfache[2]) Cd-Linie

1) H. Crew, Astrophys. Journ. **12.** p. 167—175. 1900.
2) Vgl. p. 22, Anm. 1.

2288 und das Dublet 2265 und 2144, während stärkere Cd-Linien fehlten, ebenso ein Dublet des Kupfers. Die Intensität des Calciumdublets in der Sonne hat vielleicht einen ähnlichen Grund.

Inwiefern nun das fremde Gas in der Lampe und das Medium, das den Lichtbogen oder den Funken umgibt, also Wasserstoff oder Luft, und fremder Metalldampf die Schwingung beeinflußt, ist schwer zu sagen; möglich wäre, daß Temperaturdifferenzen, die man durch schwächeren und stärkeren Strom, durch Erhitzen, überhaupt durch Veränderung des (eigenen) Dampfdruckes nicht erreichen kann, dabei eine Rolle spielen, oder daß durch das Einhüllen des leuchtenden Dampfes in verschiedene Medien, vielleicht auch, was das Wahrscheinlichste ist, durch die Mischung, d. h. durch die Verdünnung des Metalldampfes, die Schwingungen, die die obigen spektralanalytischen Resultate ergeben, bedingt sind.

Die Resultate, die im dritten Abschnitt beschrieben wurden, nämlich die Intensitätsabnahme gewisser Satelliten, sind auf denselben Grund zurückzuführen; nämlich daß die komplizierteren Systeme zuerst an Intensität verlieren. Dabei war ja der Effekt am deutlichsten bei den Satelliten der Linien 5461 und 4358, die zu den Triplets gehören. Es wäre dies auch eine Methode, die Satelliten, die zu den Hauptlinien gehören, bei denen sie liegen und zu denen sie Parallelserien bilden, von anderen Linien zu unterscheiden, die auch in der Nähe von starken Linien liegen, aber anderen Serien und Kombinationen wie letztere angehören.

V. Magnetische Untersuchungen.

Weitere Aufschlüsse über die Satelliten sollte ihr Verhalten im Magnetfeld geben. Dieses ist mit Interferenzapparaten schon an einigen wenigen Satelliten untersucht, so von Gehrcke und O. von Baeyer[1]); hauptsächlich Lunelund[2]) hat mit dem Echelon die magnetische Aufspaltung einiger

1) E. Gehrcke und O. von Baeyer, vgl. p. 7, Anm. 3.
2) H. Lunelund, vgl. p. 5, Anm. 10.

Satelliten von Quecksilberlinien gemessen, leider nicht mehr bei 4047, welche Linie er in ungestörtem Zustand noch genau ausgemessen hat. Alle diese Untersuchungen sind bei sehr schwachen Feldern gemacht. Was in etwas stärkeren Feldern aus den Satelliten wird, ist nie genau untersucht; es ist wohl gelegentlich gesehen und ausgesprochen worden, daß sie ihre Intensität verlieren, so von Gmelin[1]) bei der Hg-Linie 4358 in Feldern von ca. 10000 C.G.S., aber etwas Sicheres hierüber besteht nicht. Die Schwierigkeit dabei ist natürlich, daß in stärkeren Feldern die Komponenten der Hauptlinie sehr bald die naheliegenden Satelliten überdecken. Ich habe zunächst den Zeemaneffekt der Satelliten von mehreren Linien mit dem Echelon untersucht, dabei auch die Aufspaltung des Trabanten — 0,232 von Hg 5461 visuell beobachtet und in mehreren Feldern photographiert und dasselbe gefunden, was Lunelund beschreibt, nämlich eigenartige Intensitätsverhältnisse der Komponenten; ich hielt Überlagerungen durch Komponenten der benachbarten Ordnung für den Grund. Diese Überlagerung, die daher kommt, daß die verschiedenen Beugungsordnungen so nahe zusammenliegen, erschwert, wie auch Lunelund schreibt, die Beobachtung der Aufspaltungen mit dem Echelon außerordentlich; deshalb habe ich die Untersuchung am großen Gitter (vgl. Abschnitt 2) fortgesetzt. Das Magnetfeld lieferte ein großer Elektromagnet, der bis zu 30 Amp. belastet werden konnte; die Polschuhe hatten die in Fig. 6 abgebildete Form, durch die die Kapillare in ihrer ganzen Länge ausgenützt werden konnte.

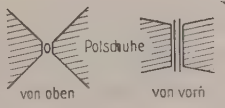


Fig. 6.

Die Lichtquelle war die auf p. 22 beschriebene Geisslerröhre aus Quarz, abgebildet wurde mit einem korrigierten Objektiv aus Quarz–Flußspath; zwischen Röhre und Objektiv befand sich ein großer Kalkspathrhomboeder, durch eine geringe Verstellung des Objektivs konnte das senkrecht oder das parallel zu den Kraftlinien polarisierte Bild scharf auf den Spalt gebracht werden. Eine Blende ließ nur Licht aus dem stärksten Feld ins Objektiv gelangen. So konnte ich ein gleichmäßiges Feld bis zu 30000 C.G.S. herstellen, hierbei war

1) P. Gmelin, Diss. Tübingen 1909. p. 30 oben.

der Magnet mit 22 Amp. belastet, was er stundenlang aushielt. Die Anordnung war außerordentlich lichtstark.

Das Verhalten der Satelliten im Magnetfeld wurde im sichtbaren Teil des Spektrums visuell und photographisch, im Ultraviolett durch mehrere Aufnahmen in verschiedenen Feldern verfolgt, dabei immer, die senkrecht oder parallel schwingenden Komponenten allein, in zwei verschieden starken Feldern untereinander photographiert; Blenden, die in den Kameras direkt vor den Platten aufgeklappt werden konnten, machten zwei aneinander stoßende verschiedene Aufnahmen auf derselben Platte möglich. Es zeigte sich, daß alle Satelliten in ganz schwachen Feldern rasch an Intensität abnehmen, und zwar scheinen sie um so eher zu verschwinden, je näher sie an der Hauptlinie liegen und je geringer ihre Intensität ist. Dies geschieht in Feldern, bei denen die Satelliten noch nicht etwa durch die Verbreiterung der Hauptlinie verdeckt werden; letztere geht dann durch eine gewisse Unschärfe, es ergeben sich verschwommene Bilder: vermutlich werden die Schwingungen, die die Satelliten erzeugen, durch das Magnetfeld in die der Hauptlinie gerichtet. Am weitesten läßt sich der Trabant — 0,232 von Hg 5461 verfolgen; er bildet ein Quadruplet im Magnetfeld. Die Komponenten mit der größeren Wellenlänge nehmen bei ca. 3000 C.G.S. an Intensität zu; bis 4800 C.G.S hat Lunelund beobachtet, da machte sich der Nachteil des Echelons, nämlich die Überlagerung der Ordnungen, geltend, auch konnte er mit seinem Magneten bei dem für die ziemlich breite Lampe groß gemachten Abstand der Polschuhe kein stärkeres Feld herstellen. Löscht man die senkrecht zu den Kraftlinien schwingenden Komponenten aus, so kann man den Satelliten noch weiter verfolgen; die parallel schwingende Komponente mit der kleineren Wellenlänge, die sich von der Hauptlinie entfernt, verliert immer mehr an Intensität und ist bei ca. 10000 C.G.S. verschwunden, die andere Komponente nimmt an Intensität zu und vereinigt sich mit der Hauptlinie, von da an ist nichts mehr sicher zu sagen. Linien, die wie 3984, 4047 und 4078 im ungestörten Zustand aus mehreren ziemlich gleich starken Komponenten bestehen, geben in schwachen Feldern ganz verschwommene Bilder und es ist schwer zu entscheiden, aus welchen verschiedenen Komponenten der unge-

störten Linie das Gesamtbild im starken Feld entstanden ist, ob und inwiefern erstere überhaupt daran beteiligt sind oder ob es sich um komplizierte Typen handelt. Die genaue Messung und Berechnung gibt auch nur teilweise (so bei 3984) bestimmte Aufschlüsse — etwa Überlagerung zweier Typen — da offenbar durch die gegenseitige Beeinflussung der Komponenten Unsymmetrien hereinkommen.

Mit starken Feldern habe ich noch einige Aufnahmen gemacht, und zwar um die Polarisationsverhältnisse zu bestimmen, senkrecht und parallel schwingende Komponenten untereinander, und um die Proportionalität der Abstände mit der Feldstärke nachzuweisen, zwei verschieden starke Felder untereinander; Aufnahmen mit verschiedener Belichtungsdauer, und endlich für die genaue Messung Aufnahmen mit sehr starken Feldern (30000 C.G.S.). Die Felder wurden aus Normalen, die ja bei jeder Aufnahme in genügender Anzahl vorhanden waren, bestimmt und die Wellenlängendifferenzen auf absolutes Maß zurückgeführt.

Die Resultate gebe ich in folgendem an, und zwar nur insofern sie von den Messungen von Runge und Paschen[1]) und den in Kaysers Handbuch[2]) aufgestellten Typen abweichen.

Die Quecksilberlinien 2224 und 2848 erscheinen im Geisslerrohr nur sehr schwach und unscharf, im Funken zwischen amalgamierten Blechen ist der Typ der Aufspaltung auch noch nicht zu erkennen, im Geisslerrohr mit Wasserstoffdruck waren beide so verstärkt, daß 2848 als Typ D_2 gemessen werden konnte, 2224 war noch zu schwach, um sicher ausgemessen zu werden, es ist aber sehr wahrscheinlich, daß dies Paar von Rydberg richtig angegeben ist, da die Aufnahmen mit dem Quarzspektrographen (Abschnitt IV) das gleiche Verhalten der beiden Linien zeigen. 2536 ist stets umgekehrt, teilweise die äußeren Komponenten reell; bei einer Aufnahme mit Polarisation, bei der letztere nicht ganz vollständig war, waren die Komponenten da nicht umgekehrt, wo sie ausgelöscht sein sollten, die Aufspaltung ist ein Triplet mit $^3/_2 a$. Die Linie

1) C. Runge u. F. Paschen, Abh. d. Berl. Akad. 1902. Anhang.
2) C. Runge, Kaysers Handbuch der Spektroskopie II. p. 659.

2576, die von Runge und Paschen als Triplet gemessen wurde, hat den Typ von 4358; 2925 in neun Komponenten aufgelöst zu sehen, gelang nicht; 2464 fehlt bei Runge und Paschen, sie spaltet in ein Triplet vom Typ 4047 auf. Die Typen der zweiten Nebenserie konnten bei dem Glied $m = 6$ (also bei den Linien 2759, 2447 und 2345) nicht mehr erkannt werden. Die Linie 3341 besitzt in ungestörtem Zustand viele Satelliten (vgl. Tab. I), diese verschwinden in ganz schwachen Feldern, die Komponenten und ihre Polarisationsverhältnisse sind von Runge und Paschen richtig angegeben, ich erwähne dies im Gegensatz zu den weiter unten beschriebenen komplizierten Typen des Gliedes $m = 3$ der zweiten Nebenserie nämlich der Linien 5461, 4358 und 4047. Die Linie 3984 besteht im ungestörten Zustand aus vier ziemlich gleich starken Komponenten und einigen Satelliten. Letztere verschwinden im schwachen Feld, erstere ergeben im starken Feld zwei übereinander liegende, gleich weit aufgespaltene symmetrische Triplets; je zwei beieinander liegende Komponenten haben denselben Abstand und ändern ihn in verschiedenen Feldern nicht. Die Triplets gehören den Komponenten 3984,048 und 3984,124 der ungestörten Linie an, wie die Messung nach anderen Linien auf derselben Platte ergab, die Übereinstimmung ist auffallend gut; die Konstante der Aufspaltung ist $a = 4{,}043 \times 10^{-5}$, also ungefähr $^5/_6$ des normalen Triplets; die Linie nimmt bei fremdem Gasdruck in der Lampe an Intensität zu, gehört also vielleicht zum Dubletsystem. Bei 4078 verschwinden auch die schwachen Komponenten der ungestörten Linie und die stärkeren laufen ineinander; im starken Feld entsteht nebenstehendes Bild (Fig. 7). Die parallel schwingenden Komponenten sind nach oben gezeichnet, die senkrecht schwingenden nach unten, ihre Intensität ist durch die Länge angedeutet. Die Abstände b, c, d und e ändern sich nicht mit dem Magnetfeld. Ein ähnlicher Typ der magnetischen Aufspaltuug findet sich bei Cadmium nicht. Die regelmäßig mit dem Feld fortschreitende Aufspaltung ($d\lambda = {}^3/_2 a$) bezieht sich nur auf die Hauptkomponenten. Wären wieder wie bei 3984 mehrere Triplets übereinander gelagert, so müßte zunächst die Hauptlinie dreifach

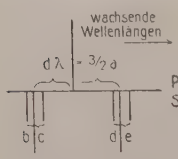


Fig. 7.

sein, nimmt man unsymmetrische Triplets an, so müßten die Abstände $b = d$ und $c = e$ sein, das stimmt nicht, auch würde ihrer Lage keine Komponente der ungestörten Linie entsprechen. Wäre ein anderer Typ darüber gelagert, so müßten b, c, d und e mit dem Magnetfeld sich ändern. Die Wellenlängendifferenzen sind $b = 0{,}035$, $c = 0{,}043$, $d = 0{,}029$, $e = 0{,}051$ Å.-E.

Die Typen der ersten Nebenserie.[1]) Hier ist zu unterscheiden zwischen den drei Hauptlinien und den schwächeren Linien[2]), von denen die Hauptlinien auf der Seite der kleineren Schwingungszahlen begleitet sind, und zwar die erste von drei, die zweite von zwei, die dritte von einer. Bei den Hauptlinien habe ich dieselbe Aufspaltung gefunden wie Runge beschreibt. Ein heller Streifen, den er in der Mitte der parallel schwingenden Komponente der ersten Linie (a_1) gesehen hat, ist Selbstumkehr der stärksten Komponente. Bei der zweiten Hauptlinie (b_1) schwingen die mittleren drei Komponenten parallel die äußeren sechs senkrecht zu den Kraftlinien. Die äußeren beiden Komponenten der dritten Linie (c_1) schwingen nur senkrecht zu den Kraftlinien. Die Komponenten von a_1 sind sehr breit, ich hielt sie zuerst für umgekehrt; es ist wahrscheinlich, daß es sich um Unschärfe einzelner Komponenten handelt, auch sieht man an den Geistern deutlich Spuren von Auflösung, es könnten dann, wie bei b_1, auch neun Komponenten sein; ebenso bei c_1, wo es möglich wäre, daß wegen zu geringer Wellenlängendifferenzen die neun Komponenten nicht mehr getrennt werden, so daß die drei Linien wie bei der zweiten Nebenserie ähnliche Typen hätten (Fig. 8).

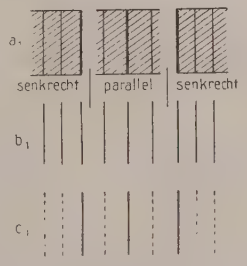


Fig. 8.

1) C. Runge u. F. Paschen l. c.; C. Runge, Kaysers Handbuch der Spektroskopie II. p. 665 unten.

2) Diese schwächeren Linien nennt Runge „Satelliten“; da ich dies Wort ebenso wie „Trabanten“ für die feinen Linien, die weniger als 0,5 Å.-E. von der Hauptlinie entfernt liegen, gebraucht habe, nenne ich jene „Begleiter“.

Die Hauptlinien sowohl als auch ihre Begleiter haben eine große Anzahl Satelliten (vgl. Tab. I), die im ganz schwachen Feld verschwinden und bei ca. 3000 C.G.S. nicht mehr zu sehen sind.

Der Typ des Begleiters von c_1 ist der von Runge und Paschen angegebene, sein Satellit —0,062 verschwindet, obwohl er nicht viel schwächer ist, vollständig. Die Typen der Begleiter von b_1 sind in Fig. 9 dargestellt in der Reihenfolge

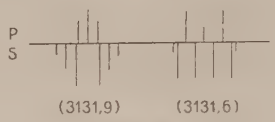


Fig. 9.

ihrer Schwingungszahlen. Die parallel schwingenden Komponenten sind nach oben gezeichnet, die senkrecht zu den Kraftlinien schwingenden nach unten, die Intensitäten sind durch die Länge angedeutet. Bei dem ersten Begleiter sind von Runge zwei Komponenten als senkrecht und parallel schwingend angegeben, dies sind je zwei Komponenten, und zwar liegen die parallel schwingenden innen, die Abstände sind die von Runge und Paschen gemessenen; bei dem zweiten Begleiter ist die mittlere Komponente übersehen, die Unsymmetrie der äußersten Komponenten habe ich nicht bemerkt, sie haben den Abstand, der für die mit der kleineren Wellenlänge angegeben ist und schwingen beide senkrecht zu den Kraftlinien. Die Typen der Begleiter von a_1 sind in Fig. 10 abgebildet,

Fig. 10.

wieder in der Reihe ihrer Schwingungszahlen. Bei dem ersten Begleiter sind die drei mittleren parallel schwingenden Komponenten, die Runge gemessen hat, zu streichen, beim zweiten ebenfalls die eine mittlere; die beiden mit einem Stern bezeichneten Komponenten schwingen parallel den Kraftlinien und nicht senkrecht. Dieser letztere Typ ist aus der Analogie

mit Cadmium gefunden. Der Typus des dritten Begleiters ist von Runge und Paschen mit Polarisationsverhältnissen richtig bestimmt.

Bei der zweiten Nebenserie treten, wie schon oben bemerkt, bei den Linien des Triplets $m = 3$ komplizierte Typen auf, sie sind in Fig. 11 abgebildet. Runge und Paschen haben von diesen weiteren Komponenten einige gesehen, schreiben sie aber, da ihr Abstand sich nicht proportional mit

Fig. 11.

dem Magnetfeld ändert, den Satelliten zu. Die Wellenlängendifferenzen b, c, d und e sind konstant, sie sind in Tab. II zusammengestellt. Die Intensität dieser neuen Komponenten

Tabelle II.

	b	*c*	*d*	*e*
4047	0,057	0,054	0,054	0,071
4358	0,053	0,050	0,055	0,048
5461	0,076	0,060	0,073	0,073

beträgt $^1/_4$—$^1/_2$ der danebenliegenden von Runge und Paschen gemessenen Komponenten; die mit dem Feld fortschreitende, regelmäßige Aufspaltung ($d\lambda = 2a$) gilt nur für die Hauptkomponenten. Bei 4047 ist die mittlere Komponente verbreitert und unscharf. Gmelin[1]) hat diese Linie im Magnetfeld mit dem Echelon photographiert und in einem Feld von 23000 C.G.S. noch keine weitere Zerlegung des Triplets gefunden. Bei Cadmium zeigen die entsprechenden Linien keine derartig komplizierten Typen.

1) P. Gmelin, Diss. Tübingen 1909. p. 33 oben.

Die selbständigen Untersuchungen wurden im Sommersemester 1910, Wintersemester 1910/11 und Sommersemester 1911 im physikalischen Institut der Universität Tübingen ausgeführt.

Es sei mir auch an dieser Stelle gestattet, meinem verehrten Lehrer Hrn. Professor Dr. F. Paschen für die freundliche Anregung zu dieser Arbeit meinen besten Dank auszusprechen.